



۱۳۸۰ / ۳ / ۲۰

بسم الله الرحمن الرحيم

بررسی فرآیند اکستروژن قوطی - قوطی و مطالعه اصطکاک در این فرآیند

بوسیله

کامران خدایرستی

پایان نامه

ارائه شده به دانشکده تحصیلات تکمیلی به عنوان بخشی از فعالیتهای
تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته

مهندسی مواد - شناسایی، انتخاب و روش ساخت مواد فلزی

از

دانشگاه شیراز

شیراز، ایران

012909

ارزیابی و تصویب شده توسط کمیته پایان نامه با درجه : عالی

امضاء اعضاء کمیته پایان نامه :

دکتر محمد محسن مشکسار،

..... استاد مهندسی مواد (رئیس کمیته)

..... دکتر سید احمد جنابعلی جهرمی، استادیار مهندسی مواد

..... دکتر ابوالقاسم دهقان، استادیار مهندسی مواد

اسفند ماه ۱۳۷۹

پیشگفتی بسیار کوچک

به مادر مهربان، پدر بزرگوار و خواهر نازنینم سه پاس همه محبت‌ها، فرزاتگیها، تشویقها و فداکاریهای بی دریغشان

و به همه استادان، آموزگاران و دوستانم که بر شادمانی، دانش و آگاهییم افزوده‌اند.

سپاسگزاری

سپاس دانای بزرگ هستی بخش که انسان را به تازه کردن زندگانی و نو کردن جهان رهنمون گشت. اکنون که به یاری ایزد یکتا این پایان نامه را به انجام رسانیده‌ام وظیفه خود می‌دانم از استاد گرامی آقای دکتر مشکسار که در انجام این پایان نامه از رهنمودهای ارزنده ایشان بهره‌مند بوده‌ام، سپاسگزاری نمایم. همچنین از اعضای محترم کمیته پایان نامه آقای دکتر دهقان و آقای دکتر جهرمی به خاطر کمک‌های مفیدشان قدردانی می‌کنم. یاری و همکاری پرسنل محترم آزمایشگاه‌های بخش مهندسی مواد نقش به‌سزایی در به انجام رساندن این پایان نامه داشت که بجاست از همگی ایشان صمیمانه و بسیار تشکر نمایم و نیز قدرشناس همه دوستان یکرنگ و مهربانم هستم و برای تک‌تک آنها سرفرازی و نیکروزی آرزو می‌کنم.

۲۹۳۰۴

چکیده

بررسی فرآیند اکستروژن قوطی - قوطی و مطالعه اصطکاک در این فرآیند

بوسیله

کامران خداپرستی

در این تحقیق، با استفاده از تئوری حد بالایی، فرآیند اکستروژن قوطی - قوطی مورد بررسی قرار گرفته است. با بکارگیری این تئوری، توان لازم برای تغییر شکل داخلی، توان مصرفی روی سطوح ناپیوستگی سرعت و توان مصرفی روی سطوح اصطکاکی تعیین گردید. برای آنالیز این فرآیند یک میدان سرعت استوانه‌ای همراه با سطوح ناپیوستگی منشوری برای نواحی تغییر شکل بکار گرفته شد. نتیجه آنالیز ریاضی بصورت معادله‌ای ارائه شده است.

در بخش آزمایشگاهی پروژه، قالبها و سمبه‌های مورد نیاز آزمایشهای تجربی با توجه به ظرفیت پرس موجود طراحی و ساخته شدند. به منظور استحکام بخشی، عملیات حرارتی مناسب روی آنها انجام پذیرفت. در کلیه آزمایشها از نمونه‌های آلومینیوم تجارتي که در دمای ۴۳۰ درجه سانتیگراد به مدت سه ساعت تابکاری شده بودند، استفاده شد و آزمایشها با روانسازهای متفاوت در کاهش سطح مقطع‌های مختلف انجام پذیرفتند.

در آزمایشهای اکستروژن قوطی - قوطی نمودارهای فشار نسبی اکستروژن و نیروی اکستروژن بر حسب جابجایی سمبه به دست آمدند و با نتایج تئوری مقایسه شدند. همچنین منحنی‌های نسبت ارتفاع قوطی اکستروژن شده بالایی به ارتفاع قوطی اکستروژن شده پایینی، بر حسب جابجایی سمبه برای روانسازهای مختلف و کاهش سطح مقطع‌های متفاوت تعیین شدند. به کمک این نمودارها فاکتور ثابت اصطکاک ارزیابی شد.

چهار

به‌علاوه برای اندازه‌گیری فاکتور ثابت اصطکاک، آزمایش‌های اکستروژن معکوس به کمک سمبه دماغه‌دار انجام پذیرفت. برای بررسی تجربی و آزمایشگاهی سیلان فلز در این فرآیند، تعدادی از نمونه‌های اولیه در جهت محورشان نصف و مقطع آنها شبکه بندی شد. با انجام فرآیند اکستروژن قوطی - قوطی روی این نمونه‌ها، نحوه سیلان فلز به خوبی رؤیت گشت. مقایسه نتایج حاصله با نتایج تئوری، هماهنگی مناسبی نشان داد.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۵۵	فهرست جداول
یازده	فهرست اشکال
شانزده	فهرست علائم اختصاری
۱	فصل اول - مقدمه
۷	فصل دوم - تاریخچه و تئوری
۷	۱-۲- تاریخچه
۱۶	۲-۲- اصطکاک در فرآیندهای شکل دادن فلزات
۱۹	۳-۲- روشهای تعیین فاکتور ثابت اصطکاک
۲۲	۴-۲- روانکاری در فرآیندهای شکل دادن فلزات
۲۴	۵-۲- فاکتورهای مهم در فرآیند اکستروژن قوطی - قوطی
۲۵	۶-۲- قابلیت شکل پذیری فلزات
۲۶	۷-۲- سرعت تغییر شکل
۲۶	۸-۲- محاسبه تنش سیلان
۲۷	۹-۲- مؤلفه‌های نرخ کرنش
۲۸	۱۰-۲- تئوری حد بالایی
۲۹	۱-۱۰-۲- توان لازم برای تغییر شکل داخلی
۲۹	۲-۱۰-۲- توان مصرفی روی سطوح ناپیوستگی سرعت
۳۱	۳-۱۰-۲- توان مصرفی روی سطوح اصطکاکی

شش

فصل سوم - روش تحقیق و مراحل آزمایشگاهی	۳۲
۱-۳- مقدمه	۳۲
۲-۳- طراحی قالب	۳۲
۱-۲-۳- سمبه	۳۶
۲-۲-۳- لقمه شکل دهنده مرکزی قالب	۴۶
۳-۲-۳- سیستم بیرون انداز	۴۷
۴-۲-۳- سیستم جداکننده قطعه از سمبه	۴۷
۵-۲-۳- میل راهنما	۴۸
۳-۳- انتخاب مواد قالب	۴۸
۴-۳- عملیات حرارتی	۴۹
۵-۳- تعیین رابطه تنش و کرنش	۵۴
۶-۳- تهیه نمونه	۵۵
۷-۳- تهیه نمونه برای بررسی سیلان	۵۵
۸-۳- انجام آزمایش اکستروژن قوطی - قوطی	۵۶
۹-۳- بررسی تجربی سیلان	۵۸
فصل چهارم - ارائه مدل ریاضی برای آنالیز اکستروژن قوطی - قوطی	۶۳
۱-۴- مقدمه	۶۳
۲-۴- آنالیز فرآیند اکستروژن قوطی - قوطی با بکارگیری سطوح ناپیوستگی	
منشوری در سیستم مختصات استوانه‌ای	۶۳
۳-۴- میدان سرعت	۶۷
۱-۳-۴- بدست آوردن مؤلفه‌های سرعت سیلان ماده در ناحیه I	۶۷
۲-۳-۴- بدست آوردن مؤلفه‌های سرعت سیلان ماده در ناحیه II	۶۸
۳-۳-۴- بدست آوردن مؤلفه‌های سرعت سیلان ماده در ناحیه III	۶۹
۴-۳-۴- بدست آوردن مؤلفه‌های سرعت سیلان ماده در ناحیه IV	۶۹

عنوان

صفحه

۷۰	۴-۳-۵- بدست آوردن مؤلفه‌های سرعت سیلان ماده در ناحیه V
۷۰	۴-۳-۶- بدست آوردن مؤلفه‌های سرعت سیلان ماده در ناحیه VI
۷۰	۴-۳-۷- بدست آوردن مؤلفه‌های سرعت سیلان ماده در ناحیه VII
۷۱	۴-۳-۸- جمع بندی مؤلفه‌های سرعت بدست آمده برای نواحی مختلف
۷۱	۴-۴- محاسبه توان تغییر شکل داخلی
۷۲	۴-۴-۱- محاسبه توان تغییر شکل داخلی در ناحیه I
۷۳	۴-۴-۲- محاسبه توان تغییر شکل داخلی در ناحیه II
۷۴	۴-۴-۳- محاسبه توان تغییر شکل داخلی در ناحیه V
۷۴	۴-۴-۴- محاسبه توان تغییر شکل داخلی در ناحیه VI
۷۴	۴-۵- محاسبه توان مصرفی روی سطوح اصطکاکی
۷۵	۴-۵-۱- محاسبه توان مصرفی روی سطح اصطکاکی S_1
۷۵	۴-۵-۲- محاسبه توان مصرفی روی سطح اصطکاکی S_5
۷۵	۴-۵-۳- محاسبه توان مصرفی روی سطح اصطکاکی S_{13}
۷۶	۴-۵-۴- محاسبه توان مصرفی روی سطح اصطکاکی S_{16}
۷۷	۴-۵-۵- محاسبه توان مصرفی روی سطح اصطکاکی S_7 ، S_{11} و S_{14} و S_{17}
۷۷	۴-۵-۶- توان مصرفی روی سطح اصطکاکی S_{15}
۷۷	۴-۶- توان مصرفی روی سطوح ناپیوستگی
۷۸	۴-۶-۱- توان مصرفی روی سطح ناپیوستگی S_2
۷۸	۴-۶-۲- توان مصرفی روی سطح ناپیوستگی S_3
۷۹	۴-۶-۳- توان مصرفی روی سطوح ناپیوستگی S_4 و S_6
۷۹	۴-۶-۴- توان مصرفی روی سطوح ناپیوستگی S_8 ، S_9 و S_{10} و S_{12}
۷۹	۴-۷- محاسبه فشار نسبی اکستروژن قوطی - قوطی

عنوان

صفحه

۸-۴- استفاده از رابطه فشار نسبی اکستروژن قوطی - قوطی برای محاسبه m .	۸۱
۹-۴- استفاده از سمبه دماغه‌دار برای تعیین فاکتور ثابت اصطکاک	۸۱
۱۰-۴- نتایج و بحث در نتایج بررسیهای آزمایشگاهی اکستروژن قوطی - قوطی	۸۷
۱-۱۰-۴- بررسی منحنی‌های نسبت ارتفاع قوطی‌ها بر حسب نسبت جابجایی سمبه	۸۷
۲-۱۰-۴- بررسی منحنی‌های نیرو بر حسب جابجایی سمبه در طول فرآیند اکستروژن قوطی - قوطی	۱۰۰
۱۱-۴- بررسی سیلان فلز	۱۱۲
فصل پنجم - خلاصه نتایج و پیشنهادها	۱۱۳
۱-۵- خلاصه نتایج	۱۱۳
۲-۵- پیشنهادها	۱۱۶
پیوست	۱۱۷
منابع	۱۱۹
عنوان و چکیده به زبان انگلیسی	

فهرست جداول

صفحه

جدول

- جدول (۱-۱): دامنه دمایی اکستروژن گرم ۳
- جدول (۱-۴): فاکتور ثابت اصطکاک برای روانسازهای مختلف ۸۴

فهرست اشکال

صفحه

شکل

- شکل (۱-۱): روشهای اصلی اکستروژن (الف) اکستروژن مستقیم ب) اکستروژن معکوس ۱
- شکل (۲-۱): فرآیند اکستروژن ترکیبی معکوس - مستقیم ۲
- شکل (۳-۱): نمودار نیرو بر حسب جابجایی برای فرآیندهای اکستروژن مستقیم و غیر مستقیم ۴
- شکل (۴-۱): فرآیند اکستروژن قوطی - قوطی ۵
- شکل (۱-۲): نقشه حد بالایی به همراه هدوگراف مربوط به اکستروژن ترکیبی قوطی - میله ۸
- شکل (۲-۲): نقشه حد بالایی به همراه هدوگراف مربوط به اکستروژن قوطی - قوطی ۹
- شکل (۳-۲): هندسه نواحی تغییر شکل در فرآیند اکستروژن ترکیبی معکوس - مستقیم ۱۰
- شکل (۴-۲): نمایش شماتیک فرآیند اکستروژن قوطی - قوطی ۱۱
- شکل (۵-۲): مقایسه سیلان ماده مدل در چند وضعیت مختلف روانکاری ۱۲
- شکل (۶-۲): میدان سرعت منحنی برای آنالیز فرآیند اکستروژن قوطی - قوطی ۱۴
- شکل (۷-۲): پیش بینی نحوه سیلان فلز توسط شبیه سازی اجزا محدود ۱۵
- شکل (۸-۲): شبیه سازی اکستروژن قوطی - قوطی توسط نرم افزار DEFORM ۱۵
- شکل (۹-۲): هندسه دو مد تغییر شکل در حلقه ۲۰
- شکل (۱۰-۲): رویه‌های حاکم بر روانکاری به ترتیب کاهش ضخامت لایه روانساز ۲۳

یازده

شکل

صفحه

- شکل (۲-۱۱): نمایش مؤلفه‌های سرعت در دو طرف سطح ناپیوستگی سرعت ۳۰
- شکل (۳-۱): نقشه کامل قسمتهای مختلف قالب ۳۵
- شکل (۳-۲): نقشه سمبه بالایی با قطر ۱۰ میلیمتر ۳۸
- شکل (۳-۳): نقشه سمبه بالایی با قطر ۱۱/۸ میلیمتر ۳۹
- شکل (۳-۴): نقشه سمبه بالایی با قطر ۱۳/۹ میلیمتر ۴۰
- شکل (۳-۵): نقشه سمبه پایینی با قطر ۱۰ میلیمتر ۴۱
- شکل (۳-۶): نقشه سمبه پایینی با قطر ۱۱/۸ میلیمتر ۴۲
- شکل (۳-۷): نقشه سمبه پایینی با قطر ۱۳/۹ میلیمتر ۴۳
- شکل (۳-۸): نقشه سمبه دماغه‌دار ۴۴
- شکل (۳-۹): نقشه لقمه مرکزی شکل دهنده قالب ۴۵
- شکل (۳-۱۰): لقمه مرکزی شکل دهنده قالب با قطر ۲۰ میلیمتر ۴۶
- شکل (۳-۱۱): سیستم جداکننده قطعه از سمبه ۵۱
- شکل (۳-۱۲): میل راهنما و حلقه حایل میل راهنما ۵۱
- شکل (۳-۱۳): حلقه حایل سیستم بیرون انداز و سمبه ۵۲
- شکل (۳-۱۴): قسمتی از سیستم بیرون انداز ۵۲
- شکل (۳-۱۵): مجموعه قطعات قالب ۵۳
- شکل (۳-۱۶): قالب مونتاژ شده ۵۳
- شکل (۳-۱۷): منحنی تنش - کرنش آلومینیوم تجارتي ۵۴
- شکل (۳-۱۸): مقطع نمونه شبکه بندی شده ۵۶
- شکل (۳-۱۹): پرس همراه با قالب ۵۹
- شکل (۳-۲۰): نحوه نصب قالب به پرس ۵۹
- شکل (۳-۲۱): نمونه اولیه و قطعه تولید شده ۶۰
- شکل (۳-۲۲): سمبه‌های بالایی و پایینی ۶۰

- شکل (۳-۲۳): سمبه دماغه‌دار و سمبه تخت برای آزمایش‌های مربوط به محاسبه m . ۶۱
- شکل (۳-۲۴): مقطع یکی از نمونه‌های اکستروژن شده ۶۱
- شکل (۳-۲۵): نمونه‌های اکستروژن شده با یک روانساز و جابجایی سمبه متفاوت ۶۲
- شکل (۳-۲۶): تأثیر اصطکاک بر روی نسبت ارتفاع قوطی‌های ایجاد شده برای روانسازهای مختلف ۶۲
- شکل (۴-۱): نواحی تغییر شکل در اکستروژن قوطی - قوطی همراه با بردارهای سرعت در نواحی مختلف ۶۴
- شکل (۴-۲): نواحی تغییر شکل در اکستروژن قوطی - قوطی همراه با بردارهای سرعت جدید در نواحی مختلف ۶۶
- شکل (۴-۳): فرآیند اکستروژن معکوس ۸۲
- شکل (۴-۴): مقایسه نمودار مربوط به سمبه تخت و سمبه دماغه‌دار ۸۵
- شکل (۴-۵): نسبت ارتفاع قوطی‌ها بر حسب جابجایی سمبه برای روانساز فوم در کاهش سطح مقطع‌های مختلف ۸۷
- شکل (۴-۶): نسبت ارتفاع قوطی‌ها بر حسب جابجایی سمبه برای روانساز خمیر صابون در کاهش سطح مقطع‌های مختلف ۸۸
- شکل (۴-۷): نسبت ارتفاع قوطی‌ها بر حسب جابجایی سمبه برای روانساز گلیسرین در کاهش سطح مقطع‌های مختلف ۹۰
- شکل (۴-۸): نسبت ارتفاع قوطی‌ها بر حسب جابجایی سمبه برای روانساز روغن موتور در کاهش سطح مقطع‌های مختلف ۹۱
- شکل (۴-۹): نسبت ارتفاع قوطی‌ها بر حسب جابجایی سمبه برای روانساز گرافیت در کاهش سطح مقطع‌های مختلف ۹۱
- شکل (۴-۱۰): نسبت ارتفاع قوطی‌ها بر حسب جابجایی سمبه برای روانساز دی‌سولفید مولیبدنیم در کاهش سطح مقطع‌های مختلف ۹۲

- شکل (۴-۱۱): نسبت ارتفاع قوطی‌ها بر حسب جابجایی سمبه برای روانساز پارافین در کاهش سطح مقطع‌های مختلف ۹۳
- شکل (۴-۱۲): نسبت ارتفاع قوطی‌ها بر حسب جابجایی سمبه برای روانساز روغن کرچک در کاهش سطح مقطع‌های مختلف ۹۳
- شکل (۴-۱۳): نسبت ارتفاع قوطی‌ها بر حسب جابجایی سمبه برای روانساز وازلین در کاهش سطح مقطع‌های مختلف ۹۴
- شکل (۴-۱۴): نسبت ارتفاع قوطی‌ها بر حسب جابجایی سمبه برای روانساز اسید استئاریک در کاهش سطح مقطع‌های مختلف ۹۴
- شکل (۴-۱۵): نسبت ارتفاع قوطی‌ها بر حسب جابجایی سمبه برای کاهش سطح مقطع ۲۵٪ در روانسازهای مایع ۹۷
- شکل (۴-۱۶): نسبت ارتفاع قوطی‌ها بر حسب جابجایی سمبه برای کاهش سطح مقطع ۲۵٪ در روانسازهای جامد و نیمه جامد ۹۷
- شکل (۴-۱۷): نسبت ارتفاع قوطی‌ها بر حسب جابجایی سمبه برای کاهش سطح مقطع ۲۵٪ ۹۹
- شکل (۴-۱۸): منحنی نیرو بر حسب جابجایی سمبه برای روانساز روغن کرچک در کاهش سطح مقطع‌های مختلف ۱۰۱
- شکل (۴-۱۹): منحنی نیرو بر حسب جابجایی سمبه برای روانساز گلیسرین در کاهش سطح مقطع‌های مختلف ۱۰۱
- شکل (۴-۲۰): منحنی نیرو بر حسب جابجایی سمبه برای روانساز فوم در کاهش سطح مقطع‌های مختلف ۱۰۲
- شکل (۴-۲۱): منحنی نیرو بر حسب جابجایی سمبه برای روانساز خمیر صابون در کاهش سطح مقطع‌های مختلف ۱۰۲

- شکل (۴-۲۲): منحنی نیرو بر حسب جابجایی سمبه برای روانساز گرافیت در کاهش سطح مقطع‌های مختلف ۱۰۴
- شکل (۴-۲۳): منحنی نیرو بر حسب جابجایی سمبه برای روانساز وازلین در کاهش سطح مقطع‌های مختلف ۱۰۴
- شکل (۴-۲۴): منحنی نیرو بر حسب جابجایی سمبه برای روانساز پارافین در کاهش سطح مقطع‌های مختلف ۱۰۵
- شکل (۴-۲۵): منحنی نیرو بر حسب جابجایی سمبه برای روانساز روغن موتور در کاهش سطح مقطع‌های مختلف ۱۰۵
- شکل (۴-۲۶): منحنی نیرو بر حسب جابجایی سمبه برای روانساز اسید استتاریک در کاهش سطح مقطع‌های مختلف ۱۰۶
- شکل (۴-۲۷): منحنی نیرو بر حسب جابجایی سمبه برای روانساز دی‌سولفیدمولیبدنیم در کاهش سطح مقطع‌های مختلف ۱۰۶
- شکل (۴-۲۸): منحنی نیرو بر حسب جابجایی سمبه برای کاهش سطح مقطع ۲۵٪ در شرایط اصطکاکی مختلف ۱۰۸
- شکل (۴-۲۹): منحنی نیرو بر حسب جابجایی سمبه برای کاهش سطح مقطع ۳۵٪ در شرایط اصطکاکی مختلف ۱۰۹
- شکل (۴-۳۰): منحنی نیرو بر حسب جابجایی سمبه برای کاهش سطح مقطع ۴۸٪ در شرایط اصطکاکی مختلف ۱۱۰
- شکل (۴-۳۱): مقایسه منحنی‌های حاصل از نتایج تئوری و نتایج آزمایشگاهی ۱۱۱
- شکل (۴-۳۲): نحوه سیلان واقعی فلز برای کاهش سطح مقطع ۲۵٪ ۱۱۲

فهرست علائم اختصاری

- d_0 و d_i به ترتیب قطر دایره محاطی مقطع چند ضلعی سمبه و قالب
- H ارتفاع محفظه قالب
- h_1 و h_2 به ترتیب ارتفاع قوطی بالایی و پایینی
- J^* توان حد بالایی
- K تنش تسلیم برشی ماده
- l_1 و l_2 به ترتیب طول ناحیه تماس سمبه بالایی و پایینی
- m فاکتور ثابت اصطکاک
- N تعداد اضلاع مقطع چند ضلعی
- P فشار متوسط سمبه
- R شعاع
- R_0 و R_i به ترتیب نصف مقادیر d_0 و d_i
- R_0, R_1 و R_2 به ترتیب شعاع حفره قالب، شعاع سمبه بالایی و شعاع سمبه پایینی
- $$\frac{R_i}{R_0} = R_{i0}$$
- $(Y')Y, \theta, R$ سیستم مختصات استوانه‌ای
- r کاهش در سطح مقطع
- S_i سطوح ناپیوستگی سرعت و سطوح اصطکاکی تماس ابزار با ماده
- T فاصله بین سمبه بالایی و پایینی
- T_0 ضخامت اولیه قطعه کار
- T_b و T_f به ترتیب ارتفاع ناحیه تغییر شکل در قسمت اکستروژن معکوس و مستقیم

شانزده

\dot{U}_0 سرعت حرکت سمبه

$\dot{U}_R, \dot{U}_\theta, \dot{U}_Y$ مؤلفه‌های سرعت در سیستم استوانه‌ای

V حجم ناحیه تغییر شکل

V_c سرعت حرکت ناحیه IV

V_f و V_b به ترتیب سرعت خروجی ماده در قالب اکستروژن معکوس و مستقیم

V'_f, V'_b به ترتیب سرعت خروجی نسبی ماده در قالب اکستروژن معکوس و مستقیم

$|\Delta V|$ قدر مطلق ناپیوستگی سرعت

$\dot{W}_e, \dot{W}_f, \dot{W}_s, \dot{W}_i$ به ترتیب توان مصرفی ناشی از میدان نرخ کرنش، سطوح ناپیوستگی

سرعت و اصطکاک و توان ناشی از فشار خارجی

Z جابجایی سمبه

α_{opt}^p نیم زاویه بهینه برای دماغه سمبه

$$\frac{\pi}{N} = \beta$$

$$\frac{V_c}{\dot{U}_0} = \lambda$$

ε_{ij} مؤلفه‌های نرخ کرنش

σ_0 تنش تسلیم ماده

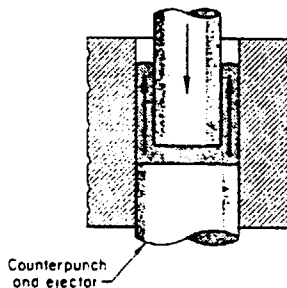
هفده

فصل اول

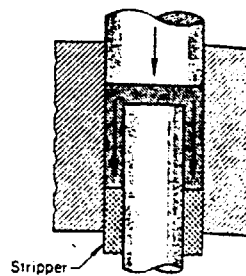
مقدمه

اکستروژن یکی از روشهای نه چندان قدیمی برای شکل دادن فلزات است که با داشتن مزایایی از قبیل: تولید قطعاتی با مقاطع نامتقارن و اشکال پیچیده، سرعت بالای تولید، دقت ابعادی قطعات تولید شده و دامنه وسیع آلیاژهای آهنی و غیرآهنی که بدین روش شکل داده می شوند، از اهمیت و جایگاه ویژه ای برخوردار می باشد. اکستروژن به صورت خیلی ساده فرآیندی از تغییر شکل است که در آن لقمه اولیه تحت فشار زیاد، درون قالب تغییر شکل می یابد که نتیجه آن کاهش سطح مقطع لقمه اولیه و شکل دهی قطعه نهایی است.

اکستروژن به سه روش مستقیم، غیرمستقیم یا معکوس و ترکیبی از این دو یعنی به روش معکوس - مستقیم انجام می شود. شکل (۱-۱) فرآیند اکستروژن مستقیم و غیرمستقیم را نشان می دهد.



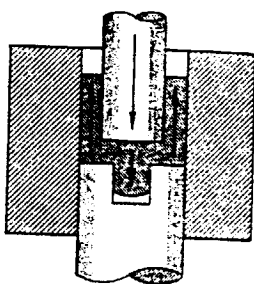
ب) اکستروژن غیرمستقیم [۳۶]



شکل (۱-۱): الف) اکستروژن مستقیم

در فرآیند اکستروژن مستقیم، جهت سیلان ماده با جهت حرکت سمبه یکسان است در صورتی که در روش اکستروژن غیرمستقیم یا معکوس سیلان ماده در خلاف جهت حرکت سمبه صورت می گیرد.

در اکستروژن معکوس - مستقیم، طراحی قالب به گونه ای صورت می گیرد که ماده در یک قسمت از قالب در خلاف جهت حرکت سمبه سیلان می کند و در قسمت دیگر قالب، سیلان ماده با جهت حرکت سمبه همسو می گردد. شکل (۱-۲) شمایی از این فرآیند را نشان می دهد.



شکل (۱-۲): فرآیند اکستروژن ترکیبی معکوس - مستقیم [۳۶]

محصولات اکستروژن معکوس - مستقیم اکثراً اشکال پیچیده ای دارند و معمولاً از نظر طولی کوتاه هستند اما دامنه کاربرد وسیعی دارند و گستره بزرگی از قطعات مهندسی را در بر می گیرند. فرآیند اکستروژن معکوس - مستقیم یک پدیده پیچیده از لحاظ تئوری - تجربی و آزمایشگاهی است زیرا در این فرآیند ماده از یک طرف تغییر شکل زیادی را تحمل می نماید و از طرف دیگر شرایط مرزی پیچیده ای ناشی از اصطکاک و نوع تغییر شکل بوجود می آید.

فرآیند اکستروژن از دیدگاه شرایط انجام فرآیند به دو دسته گرم و سرد تقسیم می شود. در اکستروژن گرم، لقمه اولیه پیش گرم شده و داخل حفره قالب قرار گرفته و

فرآیند شکل دهی انجام می شود. بیشتر فلزات به صورت گرم اکستروژن می شوند تا از امتیاز کاهش تنش سیلان ماده یا کاهش مقاومت به تغییر شکل با افزایش دما و نیز افزایش مقدار تغییر شکل برخوردار شوند. البته فرآیند گرمکاری مشکلاتی نظیر اکسید شدن سطح قطعه و ابزار اکستروژن و نرم کردن قالب و ابزار را در پی دارد. ضمن اینکه انجام روانکاری را نیز با مشکل روبرو می کند. جدول (۱-۱) دامنه دمایی را برای اکستروژن گرم چند ماده مختلف نشان می دهد.

در اکستروژن سرد، لقمه اولیه به صورت سرد شکل داده می شود. اکستروژن سرد می تواند به تولید انبوه قطعاتی با دقت ابعادی و پرداخت سطحی خوب منجر شود. در این روش به علت کار سختی زیاد، استفاده از مواد ارزان تر با درصد عناصر آلیاژی کمتر امکان پذیر است.

جدول (۱-۱): دامنه دمایی اکستروژن گرم [۳۷]

Magnesium	280 – 320 °C
Aluminium	450 – 490 °C
68/32 Brass	700 – 750 °C
Copper	800 – 880 °C
Nickel	1110 – 1160 °C
Steels	1050 – 1250 °C

شکل (۱-۳) نمودار کلی نیرو - جابجایی سیمه را برای فرآیندهای اکستروژن مستقیم و غیرمستقیم نشان می دهد. مطابق شکل در اکستروژن مستقیم با شروع تغییر شکل پلاستیک و پیشرفت سیمه، طول سطح تماس قطعه کار با محفظه قالب کاهش می یابد. بنابراین نیروی ناشی از اصطکاک و در نتیجه نیروی کل لازم برای تغییر شکل، کاهش می یابد. در اکستروژن غیرمستقیم چون حرکت نسبی بین قطعه کار و محفظه